



# Термостабилизированные тепловизионные объективы

И. П. Шишкин, А. П. Шкадаревич  
НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО Минск, Республика Беларусь

Представлена конструкция термостабилизированных объективов, работающих в ИК-области спектра 8–12 мкм. Применение в конструкции дифракционных и асферических элементов при определенной комбинации марок стекол обеспечивает стабилизацию плоскости изображения и высокое разрешение. Дано описание 2- и 3-линзового объектива с фиксированным фокусным расстоянием 35 мм и 4-линзового объектива с переменным фокусным расстоянием 30–75 мм.

**Ключевые слова:** тепловизионные объективы, киноформные и асферические элементы, ахроматизация, термостабилизация

Статья получена: 15.02.2020

Статья принята к публикации: 29.03.2020

## ВВЕДЕНИЕ

Современные приборы работают в широком диапазоне температур от  $-50$  °C до  $50$  °C. Колебания температурных условий эксплуатации объективов приводит к изменению длины оправ, воздушных промежутков и оптических сил линз. А это, в свою очередь, ведет к смещению плоскости изображения. Поэтому задача одновременного выполнения условий термостабилизации и высокого разрешения актуальна для объективов тепловизоров.

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ

Существует два метода термостабилизации объективов. Первый – пассивная стабилизация, когда в конструкции объектива применяется

# Thermally Stabilized Thermal Imaging Lenses

I.P. Shishkin, A.P. Shkadarevich  
STC “LEMT”, BelOMO Minsk, Republic of Belarus

The design of thermally stabilized lenses operating in the IR spectral range of 8–12  $\mu\text{m}$  is presented. The use of diffractive and aspherical elements in the construction with a certain combination of types of glasses ensures image plane stabilization and high resolution. A description is given of a 2- and 3-element lens with a fixed focal length of 35 mm and a 4-element lens with a variable focal length of 30–75 mm.

**Keywords:** thermal imaging lenses, kinoform and aspherical elements, achromatization, thermal stabilization

Received: 15.02.2021

Accepted: 29.03.2021

## INTRODUCTION

Modern devices operate in a wide temperature range from  $-50$  °C to  $50$  °C. Fluctuations in the operating temperature of lenses lead to changes in frame length, air gaps, and lens optical powers. And this, in turn, leads to a displacement of the image plane. Therefore, the task of simultaneously fulfilling the conditions of thermal stabilization and high resolution is relevant for the lenses of thermal imagers.

## THERMAL STABILIZATION

There are two methods of thermal stabilization of lenses. The first is passive stabilization, when a combination of optical materials with different coefficients of thermal expansion is used in the lens design. Due to the method of passive stabilization, when the temperature changes, the defocusing of the image does not exceed a few micrometers. The second method involves moving a specific group of lenses to stabilize the image plane. This method requires a more complex design due to the need to thermally stabilize a larger number of lenses and create a focusing mechanism.

комбинация оптических материалов, обладающих различными коэффициентами температурного расширения. Благодаря методу пассивной стабилизации при изменении температуры расфокусировка изображения не превышает нескольких микрометров. Второй метод подразумевает подвижку определенной группы линз для стабилизации плоскости изображения. Этот метод требует применения более сложной конструкции из-за необходимости термостабилизации большего числа линз и создания механизма фокусировки.

### РАЗРЕШЕНИЕ

Эффективным методом повышения разрешения в объективе является его ахроматизация. Ахроматизация заключается в подборе комбинации стекол, имеющих различные коэффициенты дисперсии. С помощью ахроматизации можно существенно уменьшить хроматические aberrации и обеспечить требуемое качество изображения. Несмотря на то, что перечень оптических материалов, прозрачных в области спектра 8–12 мкм, весьма ограничен, а самым распространенным материалом является германий, можно подобрать марку материала с более низким показателем преломления. Такое стекло в паре с германием позволит ахроматизировать объектив. Если на одну из линз объектива нанести дифракционную микроструктуру (киноформ), а другой линзе придать асферический профиль, можно добиться термостабилизации плоскости изображения. В работе [1] было предложено использовать для одновременного выполнения требований коррекции хроматических и монохроматических aberrаций дифракционные оптические элементы, нанесенные на одну из поверхностей линзы объектива для двойного ИК-диапазона. При этом авторы опирались на работы [2, 3], результаты которых доказывали, что уникальные aberrационные

### RESOLUTION

Achromatization is an effective method of increasing the resolution in a lens. Achromatization consists in the selection of a combination of glasses with different dispersion coefficients. Achromatization can significantly reduce chromatic aberration and provide the required image quality. Despite the fact that the list of optical materials transparent in the spectral range of 8–12  $\mu\text{m}$  is very limited, and the most common material is germanium, it is possible to choose a grade of material with a lower refractive index. This glass paired with germanium will allow the lens to be achromatized. If a diffractive microstructure (kinoform) is applied to one of the lens lenses, and an aspherical profile is given to the other lens, it is possible to achieve thermal stabilization of the image plane. In [1], it was proposed to use diffractive optical elements deposited on one of the surfaces of the lens element for the dual infrared range to simultaneously fulfil the requirements for correcting chromatic and monochromatic aberrations. The authors relied on works [2, 3], the results of which proved that the unique aberration properties of diffractive optical structures give the greatest effect in the IR range. And taking into account the strict requirements for the transmittance of thermal imaging lenses, the most optimal system is a design of 2–4 lens elements [4, 5].

### PASSIVE-STABILIZATION LENS CONSTRUCTION

The main parameters of a 2- and 3-element lens with passive image plane stabilization, obtained after dimensional and aberration calculations, are given in Table 1. Diagrams of these lenses and graphs of the optical transfer function for the operating temperature range are shown in Fig. 1.

### VARIABLE-FOCUS LENS

Fig. 2 shows the view and graphs of the optical transfer function of an achromatized lens with a variable focal

**Таблица 1.** Основные конструктивные параметры 2- и 3-линзового объектива с пассивной стабилизацией плоскости изображения

**Table 1.** Basic design parameters of a 2- and 3-element lens with passive image plane stabilization

Вариант Option	Относительное отверстие Relative aperture	Формат Form factor	Количество линз Number of lenses	Киноформ Kinoform	Асферика Aspherical	Марки стекол Glass makes	Длина, мм Length, mm
1	F/1	640×480	2	1	2	2	45
2	F/1	640×480	3	1	1	2	50

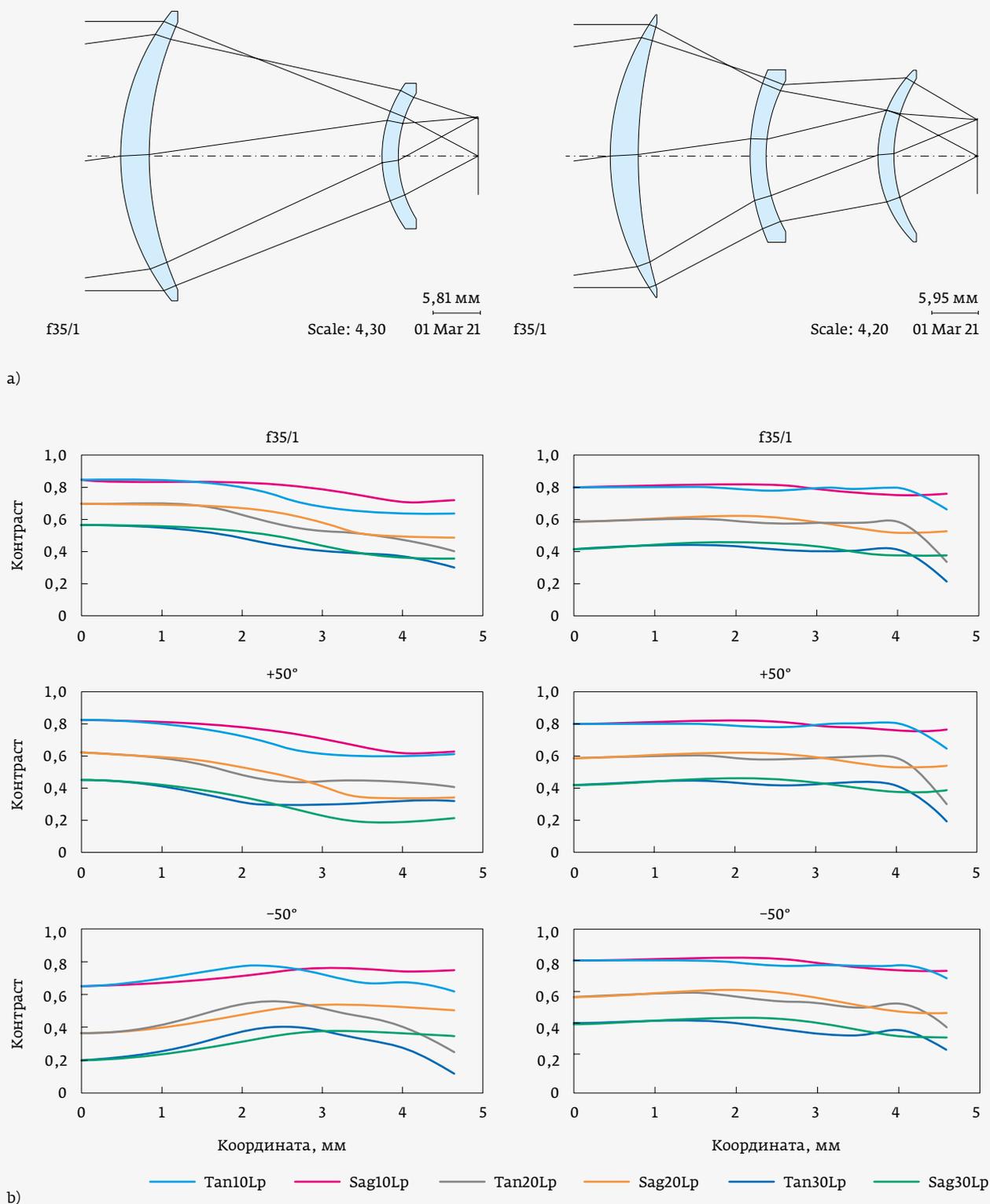


Рис. 1. Термостабилизированные объективы  $f' = 35$  мм: а – схемы объективов, б – графики оптической передаточной функции

Fig. 1. Thermally stabilized lenses  $f' = 35$  mm: a – diagrams of lenses, b – graphs of the optical transfer function



свойства дифракционных оптических структур дают наибольший эффект в ИК-диапазоне. А с учетом строгих требований к коэффициенту пропускания тепловизионных объективов наиболее оптимальную систему представляет собой конструкция из 2-4-х линз [4, 5].

### КОНСТРУКЦИЯ ОБЪЕКТИВОВ С ПАССИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ

Основные параметры 2- и 3-линзового объектива с пассивной стабилизацией плоскости изображения, полученные после габаритного и абберационного расчета, приведены в табл. 1. Схемы этих объективов и графики оптической передаточной функции для рабочего диапазона температур представлены на рис. 1.

### ОБЪЕКТИВ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ

На рис. 2 представлены вид и графики оптической передаточной функции ахроматизированного объектива с переменным фокусным расстоянием 30–75 мм, относительным отверстием  $F/1$ . Термокомпенсация в объективе совмещена с функцией зум, которая осуществляется благодаря подвижке 2-й и 3-й линз. Диапазон изменения фокусных расстояний в объективе составляет 2,5х и обусловлен следующими ограничениями:

- массогабаритные характеристики накладывают лимит на число линз, используемых в конструкции (принято 4 линзовых элемента);
- диаметр фронтальной линзы не должен превышать заданного значения (принято 70 мм);
- дисторсия не должна превышать 10%.

Основные параметры рассчитанной конструкции тепловизионного объектива приведены в табл. 2. Все линзы в объективе сферические. В первом варианте исполнения вторая линза

length of 30–75 mm and a relative aperture of  $F/1$ . The thermal compensation in the lens is combined with the zoom function, which is carried out by moving the 2nd and 3rd elements. The zoom range of the lens is 2.5x and is subject to the following restrictions:

- weight and size characteristics impose a limit on the number of lenses used in the design (the minimum is 4 lens elements);
- diameter of the front lens element should not exceed the specified value (accepted 70 mm);
- distortion should not exceed 10%.

The main parameters of the calculated design of the thermal imaging lens are given in table. 2. All lenses in the lens are spherical. In the first embodiment, the second lens is made of germanium with a diffraction profile, in the second embodiment, the second lens is made of an optical crystal.

### CONCLUSION

Analysis of the functions of the optical transfer function showed that the use of kinoform, aspherical elements and a combination of optical materials makes it possible to create thermal imaging lenses operating in the IR range with high resolution and thermal stabilization of the image plane.

### ABOUT AUTHORS

Shishkin Igor Petrovich, Candidate of Technical Sciences, shipoflens@mail.ru, RTC "LEMT" BelOMO, Minsk, Republic of Belarus.

ORCID ID: 0000-0002-4592-1060

Shkadarevich Alexey Petrovich, Doctor of Technical Sciences, RTC "LEMT" BelOMO, Minsk, Republic of Belarus.

### CONTRIBUTION BY THE MEMBERS OF THE TEAM OF AUTHORS

The article was prepared on the basis of many years of work by all members of the team of authors. Development and research are carried out at the expense of RTC "LEMT" BELOMO.

### CONFLICT OF INTEREST

The authors claim that they have no conflict of interest.

**Таблица 2.** Основные конструктивные параметры конструкции тепловизионного объектива

**Table 2.** Basic design parameters of the thermal imaging lens design

Вариант исполнения конструкции Design option	Относительное отверстие Relative aperture	Формат Form factor	2 линза 2 lens element	Поле Field	Длина, мм Length, mm	Вес линз, г Lens weight, g	Дисторсия Distortion
1	$F/1$	640×480	Киноформ Kinoform	25°–10°	127	127	<10%
2	$F/1$	640×480	Кристалл Crystal	25°–10°	125	128	<10%

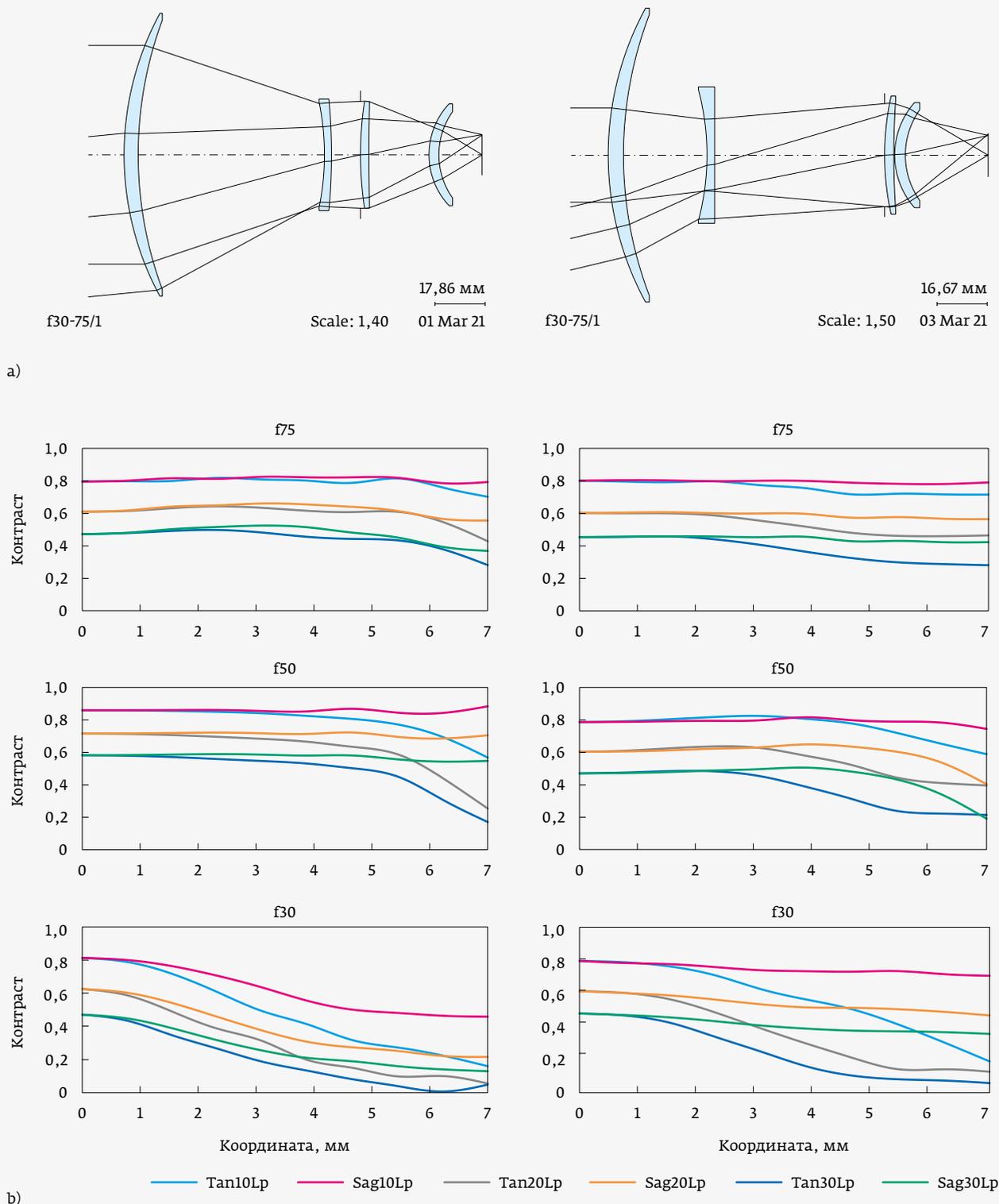


Рис. 2. Термостабилизированные объективы с переменным фокусным расстоянием 30–75 мм: а – схемы объективов, б – графики оптической передаточной функции

Fig. 2. Thermally stabilized lenses with a variable focal length of 30–75 mm: a – diagrams of lenses, б – graphs of the optical transfer function



выполнена из германия с дифракционным профилем, во втором варианте конструкции вторая линза сделана из оптического кристалла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ оптической передаточной функции показал, что применение киноформных, асферических элементов и комбинация оптических материалов позволяет создать тепловизионные объективы, работающие в ИК-диапазоне, с высоким разрешением и термостабилизацией плоскости изображения.

## REFERENCES

1. Greysukh G. I., Danilov V. A., Ezhov E. G., Antonov A. I., Usievich B. A. Diffractive Elements in Optical Systems of Middle and Double IR Range. *Photonics Russia*. 2020; 14(2):184–191. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.2.184.191.  
Грейсух Г. И., Данилов В. А., Ежов Е. Г., Антонов А. И., Усиевич Б. А. Дифракционные элементы в оптических системах среднего и двойного ИК-диапазона. *Фотоника*. 2020; 14(2):184–191. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.2.184.191.
2. Wang Hu, Bai Yu, Luo Jianjun. Hybrid refractive / diffractive optical system design for light and compact uncooled longwave infrared imager. *Proc. of SPIE*. 2012; 8416:84162N-1. DOI: 10.1117/12.975749-7296.
3. Patent RU 2621366. *Kompaktnyj obektiv srednego IK-diapazona / Bezdid'ko S. N., Tarasishin A. V.* [in Russ]. Патент РФ 2621366. Компактный объектив среднего ИК-диапазона / Бездидько С. Н., Тарасишин А. В.
4. Shishkin I. P., Shkadarevich A. P. Achromatized IR-Lenses. *Priborostroenie-2019: Proc. XII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, 13–15 noyabrya 2019 goda, Minsk, Respublika Belarus' / redkol.: O. K. Gusev. –Minsk: BNTU, 2019; 5–6.* [in Russ]  
Шишкин И. П., Шкадаревич А. П. Ахроматизированные ИК-объективы. Материалы 12-й Международной научно-технической конференции, «Приборостроение-2019», 13–15 ноября 2019. Минск, Республика Беларусь/редкол.: О. К. Гусев. – Минск: БНТУ, 2019; 5–6.
5. Shishkin I. P., Shkadarevich A. P. Achromatized Lenses of Thermal Imagers. *Photonics Russia*. 2020; 14(4): 360–367. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.4.360.367.  
Шишкин И. П., Шкадаревич А. П. Ахроматизированные объективы тепловизоров. *Фотоника*. 2020; 14(4): 360–367. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.4.360.367.

## ОБ АВТОРАХ

Шишкин Игорь Петрович, к. т. н, shipoflens@mail.ru, НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь.  
ORCID ID: 0000-0002-4592-1060  
Шкадаревич Алексей Петрович, НТЦ «ЛЭМТ», БелОМО, Минск, Республика Беларусь.

## ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива. Разработка и исследования выполнены за счет собственных средств НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## XXVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы»



Организационный комитет XXVII Международного Симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» объявляет о сроках проведения мероприятия. Согласно плану Симпозиум состоится в Москве 5–9 июля 2021 года. В рамках Симпозиума будут работать шесть конференций:

1. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы
2. Распространение излучения в атмосфере и океане
3. Исследование атмосферы и океана оптическими методами
4. Физика тропосферы
5. Физика средней и верхней атмосферы
6. Цифровые платформы исследований атмосферы и океана.

Конференции пройдут одновременно на нескольких площадках: Президиум РАН (г. Москва, Ленинский проспект, 32а), Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН (г. Москва, Пыжевский пер., 3) и Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского РАН (г. Москва, Ленинский проспект, 38-1).

Сопредседатели Симпозиума:

- академик Г. А. Жеребцов,
- академик И. В. Бычков,
- д. ф. - м. н. Г. Г. Матвиенко,
- д. ф. - м. н. С. Н. Куличков,
- д. ф. - м. н. И. В. Пташник,
- д. ф. - м. н. С. Б. Турунтаев.

Организаторы Симпозиума:

- Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН,
- Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН,
- Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского РАН,
- Институт солнечно-земной физики СО РАН,
- Институт динамики систем и теории управления В. М. Матросова СО РАН.

Планируется издание специального выпуска международного журнала открытого доступа *Atmosphere* (SCI journal, Impact Factor: 2.397). Статьи, подготовленные по правилам издательства MDPI Instructions for Authors, принимаются на сайте специального выпуска журнала [https://www.mdpi.com/journal/atmosphere/special\\_issues/atmos\\_physicsIII](https://www.mdpi.com/journal/atmosphere/special_issues/atmos_physicsIII) до 10 декабря 2021 года.

Планируется издание сборника докладов в *Proceedings of SPIE* (The International Society for Optical Engineering <http://spiedl.org/>) в электронном виде. Манускрипт, подготовленный на английском языке в соответствии с правилами SPIE, должен быть размещён на сайте <https://spie.org/paper-submission-ao021> до 15 июня 2021 года.

С правилами подготовки текста доклада для публикации в SPIE можно ознакомиться в разделе «Дополнительная информация» и на сайте <http://spie.org/conferences-and-exhibitions/authors-and-presenters/format-your-manuscript-multimedia-files-and-references>.

*Ученый секретарь Симпозиума к. ф. - м. н. Харченко Ольга Викторовна.*

*Томск, Россия, 634055, пл. Академика Зуева, 1; тел. +7 (3822) 490462, +7 913 874-11-00,*

*факс: +7 (3822) 492086; e-mail: sym2021@iao.ru*